

CONCEITOS E TÉCNICAS BÁSICAS DA TEORIA DOS JOGOS APLICADOS EM REDES WIMAX

Pedro J. Ashidani¹, Paulo R. Guardieiro²

Universidade Federal de Uberlândia², Faculdade de Engenharia Elétrica – Uberlândia – MG

Centro Universitário do Planalto de Araxá¹ – Araxá – MG

pedroashidani@uniaraxa.edu.br, pguardieiro@ufu.br

Resumo – As redes sem fio, em particular, as redes WiMAX, desafiam os pesquisadores em áreas como escalonamento, controle de admissão de conexões, policiamento e moldagem de tráfego. A teoria dos jogos tem-se mostrado uma importante ferramenta para auxílio na modelagem e resolução destes problemas. Neste artigo apresenta-se os resultados de um levantamento bibliográfico sobre a aplicação da teoria dos jogos e o uso do modelo de jogos cooperativos e jogos não-cooperativos na resolução de problemas de redes WiMAX.

Palavras-Chave – Teoria dos Jogos, Wireless, WIMAX

BASIC CONCEPTS AND TECHNIQUES IN GAME THEORY APLIED TO WIMAX NETWORKS

Abstract - Wireless networks and especially the WiMAX standard challenge researchers in areas such as scheduling, admission control, resource allocation and provision of quality of service. Game theory has proven an important tool to aid in modeling and solving these problems. This paper presents the results of a literature survey on the application of game theory and the use of cooperative and non-cooperative games models in solving problems of WiMAX networks.

Keywords - Teoria dos Jogos, Wireless, WIMAX

I. INTRODUÇÃO

O padrão IEEE 802.16 [1] conhecido como WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) tem sido desenvolvido para oferecer acesso sem fio de banda larga.

A necessidade de adequar o WiMAX a diversas aplicações multimídia com diferentes requisitos de QoS (*Quality of Service*), fez com que fosse definido pelo padrão, o suporte a tipos de serviços, requisição de banda e mecanismos de alocação, porém detalhes de suporte ao serviço QoS e algoritmos de escalonamento para alocação de banda não foram detalhados e tem motivado pesquisas da comunidade acadêmica.

Recentes estudos tem buscado na teoria dos jogos conceitos de otimização que tem sido aplicados em provisionamento de QoS em redes WiMAX.

A teoria dos jogos é uma ferramenta que permite aos pesquisadores a modelagem de problemas onde os participantes tomam decisões em situações de conflito ou cooperação. A teoria dos jogos é o estudo da interação de agentes de sistemas autônomos [2].

As raízes da teoria dos jogos é antiga, com conceitos embrionários de Talmud (0-500AD) [1]. Nos tempos modernos, Cournot, Edgeworth, Zermelo, Borel, von Neumann, Morgenstern e Nash, criaram os alicerces para a análise estratégica dos jogos [3].

O jogo é feito de três componentes básicos: um conjunto de jogadores, um conjunto de ações e um conjunto de preferências.

Denominam-se jogadores os agentes racionais que baseados em um conjunto de estratégias, decidem racionalmente por ações que afetam os demais jogadores [4]. Em uma rede sem fio os jogadores são na maioria dos casos, os nós da rede.

As alternativas disponíveis para cada jogador representam as ações, que podem variar com o tempo. As ações podem incluir a escolha de protocolos, taxas de transferência, admissão de clientes etc. Um conjunto de ações forma a estratégia adotada pelo jogador, e as estratégias adotadas por todos os jogadores determinarão o resultado do jogo.

As avaliações de todos os possíveis resultados do jogo formam a relação de preferências. Valores são atribuídos a cada resultado do jogo e representam a recompensa. As preferências dos jogadores podem ser representadas por funções de utilidade [4].

As escolhas de estratégias adequadas podem ser tomadas individualmente, onde se busca o ganho máximo para o jogador, ou em coalisões, onde as escolhas estratégicas levam em conta os objetivos da coalisão.

Este trabalho apresenta um levantamento bibliográfico sobre a aplicação da teoria dos jogos cooperativos e jogos não cooperativos na resolução de problemas de redes WiMAX.

A organização do restante do trabalho é descrita a seguir. A seção II apresenta uma visão geral do padrão WiMAX. A



X CEEL - ISSN 2178-8308
24 a 28 de setembro de 2012
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

seção III apresenta uma visão geral da Teoria dos Jogos. A seção IV aborda o levantamento bibliográfico do uso da Teoria dos Jogos em redes WiMAX e finalmente a seção V apresenta a conclusão do trabalho.

II. VISÃO GERAL DO WIMAX

O WiMAX define uma camada física que trabalha com quadros. Os quadros são divididos em sub-quadros, que são utilizados pelas BS (*base station*) e SS (*service station*) para transmissão de dados. O sub-quadro *downlink* é utilizado pela BS para enviar informações de controle e dados para as SSs, enquanto o sub-quadro *uplink* é compartilhado por todas as SSs para envio de dados. No modo TDD (*Time Division Duplex*) a transmissão de dados da BS para a SSs ocorre em momentos distintos da transmissão da SS para a BS, visto que as transmissões compartilham a mesma frequência. As transmissões *downlink* ocorrem alternadamente com as transmissões *uplink*.

O protocolo MAC (*Media Access Control*) do WiMAX, é orientado à conexão. Para transmitir dados, as SSs enviam solicitação de banda para a BS, que por sua vez reservam espaços de tempo de transmissão baseados na requisição de banda e nos requisitos de QoS da conexão.

A BS faz uma pesquisa *unicast* e aloca banda para receber a resposta da SS. Esta resposta pode ser enviada sozinha ou juntamente com quadros de dados. Quando uma pesquisa *multicast* é feita a um grupo, os membros do grupo respondem com solicitações de banda. Quando conflitos entre duas ou mais transmissões acontecem, algoritmos de contenção são usados.

O WiMAX define cinco tipos de fluxos serviço, para dar suporte a uma variedade de aplicações multimídias. Cada tipo possui diferentes requisitos de QoS e cada conexão entre a BS e a SS é associado a um tipo de fluxo.

O tipo UGS (*Unsolicited Grant Service*) fornece uma taxa de transmissão constante para aplicações que necessitam CBR (*Constante Bit Rate*), como vídeo conferência. O rtPS (*Real-time Polling Service*) é projetado para aplicações com requisitos de tempo real que produzem pacotes de tamanho variável periodicamente, como aplicações de vídeo armazenado. O tipo ertPS (*Extended Real-time Polling Service*) é associado a aplicações de tempo real com taxa variável, como VoIP com supressão de silêncio. O serviço nrtPS (*Non-real-time Polling Service*) é associado a aplicações insensíveis ao atraso como FTP e que pacotes de tamanho variável necessitam oportunidades de transmissão periodicamente. O serviço BE (*Best Effort*) suporta tráfego de melhor esforço sem quaisquer garantias de QoS.

III. TEORIA DOS JOGOS

Recentemente, a teoria dos jogos emergiu como a ferramenta central para projetos e pesquisas de redes sem fio. Isto se deve principalmente à necessidade de incorporar técnicas e regras de tomadas de decisão nos nós das redes de comunicação [8]. Na teoria dos jogos, encontram-se diferentes técnicas que podem ser aplicadas na análise e otimização de redes WIMAX. Para a correta aplicação da

teoria dos jogos nos diferentes problemas, a escolha de uma técnica adequada é de extrema importância.

A. Jogos Não Cooperativos

Um jogo não-cooperativo envolve uma quantidade de jogadores que possuem interesses conflitantes nos possíveis resultados do jogo. Neste tipo de jogo, cada jogador necessita decidir independentemente dos outros jogadores, considerando somente as possíveis escolhas dos outros jogadores e o efeito destas escolhas nos objetivos e recompensas. Jogos não-cooperativos, não implicam necessariamente que os jogadores não cooperam, mas que qualquer cooperação seja forçada, sem comunicação ou coordenação das escolhas estratégicas entre os jogadores [5].

Um jogo é dito de informação completa se todos os elementos do jogo são de conhecimento comum, caso contrário o jogo é dito de informação incompleta [5].

Formalmente, uma forma normal de um jogo G é dado por $G=(N,S, \{u_i\})$, onde $N=\{1,2,3,\dots, n\}$ é o conjunto de jogadores, S_i é o conjunto de estratégias disponíveis ao jogador i , $S=\{S_1 \times \dots \times S_i \times \dots \times S_n\}$ o produto cartesiano dos conjuntos de estratégias e $\{u_i\}=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ conjunto de funções de utilidade de cada jogador i [5].

Um jogo é dito estático se os jogadores escolhem sua ação somente uma vez independente das ações dos outros jogadores.

Um jogo é dito dinâmico se um jogador possui informações sobre algumas das escolhas dos outros jogadores e pode, a partir destas informações, realizar sua escolha. Neste tipo de jogo o tempo tem papel importante nas tomadas de decisões.

Muitas vezes as informações sobre as ações, estratégias e recompensas disponíveis não estão completamente disponíveis aos jogadores. Neste tipo de jogo, chamados de Jogos Bayesianos, a estratégia de um jogador dependerá não somente de suas características, mas também da distribuição de probabilidade que o jogador possui a respeito dos tipos dos outros jogadores.

B. Jogos Cooperativos

Enquanto os jogos não cooperativos estudam as escolhas estratégicas dos jogadores, jogos cooperativos utilizam ferramentas de análise para estudar o comportamento dos jogadores quando eles cooperam [5]. O termo cooperar significa agir junto, com um objetivo comum [6]. Neste contexto, os jogadores devem colocar de lado o conjunto de suas recompensas e criar uma nova função de utilidades coletiva.

Jogos cooperativos dividem-se em dois grupos: teoria de negociação e jogos de alianças. O primeiro descreve as negociações entre conjuntos de jogadores e o segundo trata das alianças feitas entre grupos de jogadores que podem fortalecer a posição dos jogadores dentro do jogo.

Teoria da negociação analisa situações onde os jogadores podem conseguir benefícios mútuos alcançando um acordo, porém com interesses conflitantes nos termos deste acordo.

É interessante para uma rede WiMAX que os seus nós compartilhem recursos de maneira a otimizar o uso da rede. Apesar do interesse em compartilhar os recursos, cada nó deseja maximizar a quantidade de recurso por ele recebida.

Uma abordagem possível para a otimização dos recursos da rede seria a negociação.

Pontos-chaves no estudo de problemas de negociação são: eficiência, distribuição, coordenação estratégica e controle de acordos [6].

Para resolver problemas de negociação pode-se usar a Solução de Negociação de Nash (NBS). Nash definiu quatro axiomas que especificam propriedades da solução do problema de negociação: Eficiência de Pareto, Simetria, Invariância da função utilidade e independência das alternativas irrelevantes. Nash demonstrou que existe uma única solução que satisfaz as quatro condições [6].

Os jogos de coalizão mostram-se poderosas ferramentas para o projeto de estratégias justas, robustas, práticas e eficientes para redes WiMAX. Adotando uma abordagem orientada à engenharia, tem-se os jogos de coalizão em 3 classes distintas [5]: Jogos Canônicos, Jogos de Formação de Alianças e Jogos de Grafos de Alianças.

O jogo canônico é um jogo onde todos os jogadores formam uma grande aliança e os jogadores em grupo terão melhores resultados do que sozinhos. Os jogos de formação de alianças a estrutura das redes e os custos de formação das alianças tem papel importante. Nos jogos de grafos de alianças, os mecanismos de comunicação tem papel fundamental.

IV. WIMAX E TEORIA DOS JOGOS

Dentre os desafios no desenvolvimento das redes WiMAX, o uso da teoria dos jogos em CAC, tem despertado o interesse dos pesquisadores. Em [7] apresenta-se uma proposta de CAC, baseada em uma modelagem de jogo entre duas operadoras. O jogo modela os conflitos e as recompensas resultantes das associações de clientes das redes, frente às estratégias e ações tomadas pelas operadoras. As duas redes, *network 1* e *network 2*, são recompensadas com o preço pago pelos usuários das SSs que se associarem às suas redes. As recompensas para *network 1* é dada por:

$$r_{ij}^1 = U_i \times P[i, j] \quad (1)$$

E a recompensa para *network 2* é dada por

$$r_{ij}^2 = U_j \times (1 - P[i, j]) \quad (2)$$

Onde U é a função utilidade a ser ganha pela operadora e P é a probabilidade que o cliente escolha *network 1* com o preço p_i quando o operador de *network 2* escolhe o preço q_j .

Pela modelagem do jogo verifica-se que se trata de um jogo não-cooperativo. O autor de [7] opta pela solução do Equilíbrio de Nash. O equilíbrio de Nash representa uma solução para o jogo, onde os jogadores não podem melhorar sua recompensa mudando sua estratégia unilateralmente.

A alocação de banda tem importante papel no suporte de QoS aos serviços. A divisão de recursos cria uma disputa onde a teoria dos jogos pode prover ferramentas para sua análise. Em [8] se adota uma abordagem de jogo não-cooperativo para a modelagem do jogo de alocação de banda e controle de admissão. Neste jogo, a BS e as conexões das SSs representam os jogadores. A formulação deste jogo

baseia-se no fato de que a BS pode admitir novas conexões se não degradar o desempenho das conexões ativas abaixo de um nível mínimo e a nova conexão aceita o serviço oferecido se os requisitos de QoS forem atendidos. O algoritmo de alocação de banda e admissão de controle é exibido na Figura 1.

Para cada tipo de classe de serviço, é definida uma função utilidade. Para o rtPS, utiliza-se uma função modificada de sigmoid para se obter uma medida do desempenho. O valor da função varia de 0 a 1, onde 0 representa que o desempenho não atendeu às expectativas e 1 atendeu completamente às expectativas. O atraso médio é representado por $d(b(i))$ e d_{tar} representa o requisito do atraso.

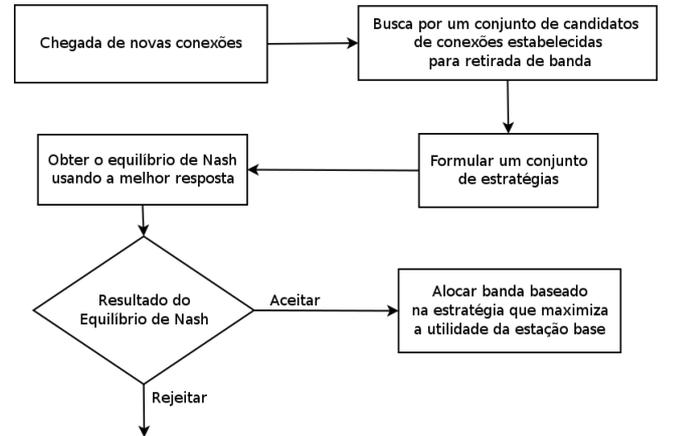


Fig. 1. Procedimento de controle de banda e admissão de controle. Adaptado de [8].

$$U_i(b(i)) = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-g_{rt} \times (\bar{d}(b(i)) - d_{tar} - h_{rt}))} \quad (3)$$

Para o nrtPS, a função utilidade da conexão i depende taxa de transmissão $\tau(b(i))$ que por sua vez é função da banda alocada. τ_{tar} representa o requisito de vazão. g_{nrt} e h_{nrt} são parâmetros da função sigmoid.

$$U_i(b(i)) = \frac{1}{1 + \exp(-g_{nrt} \times (\tau(b(i)) - \tau_{tar} - h_{nrt}))} \quad (4)$$

Para o BE que não possui nenhum requisito de QoS, a função utilidade é uma função crescente da taxa de transmissão $\tau(b(i))$, g_{be} e h_{be} são parâmetros da função utilidade.

$$U_i(b(i)) = g_{be} \log(1 + h_{be} \tau(b(i))) \quad (5)$$

Para cada solicitação de conexão, uma quantidade de banda é retirada das conexões rtPS (τ_{rt}), nrtPS (τ_{nrt}), e BE (τ_{be}) estabelecidas. Um conjunto de estratégias é criado para definir a quantidade de banda a ser retirada e a seguir decidem-se quais conexões terão a banda reduzida, pela busca de quais conexões possuem maior recompensa.

Duas matrizes de recompensas são calculadas, uma matriz de recompensa da BS (φ_{bs}) e outra matriz de recompensa da nova conexão φ_{nc} .

Quando uma conexão é iniciada, a BS invoca os algoritmos de alocação de banda e controle de admissão. A

nova conexão informa para a BS qual o tipo de conexão (rtPS, nrtPS ou BE) e os requisitos de QoS. Então, a BS estabelece um conjunto de estratégias e calcula as recompensas correspondentes para cada estratégia. A seguir, o jogo é resolvido para se obter o equilíbrio de Nash e a decisão de aceitar ou rejeitar a conexão é tomada e, se for o caso, uma quantidade de banda é alocada à nova conexão.

O mesmo problema de alocação de banda é abordado em [9]. O problema é modelado em um jogo onde os usuários são os jogadores e a recompensa é a banda obtida. O conjunto de estratégias é limitado pelos recursos físicos disponíveis. Uma função utilidade de tempo é definida para cada classe de serviço conforme Figura 2.

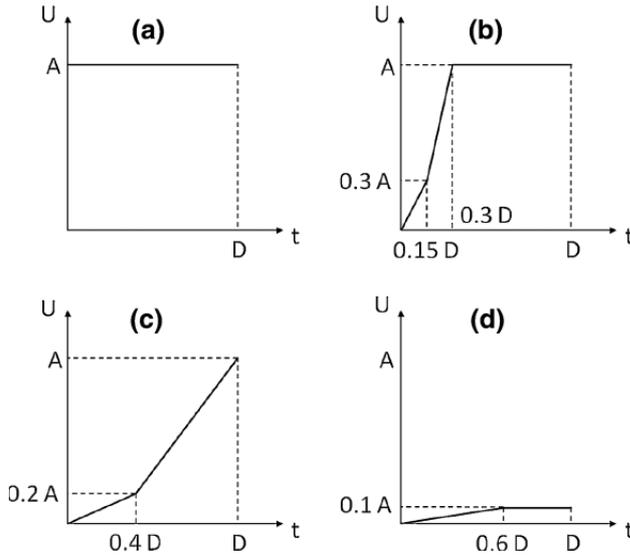


Fig. 2. Exemplos de funções utilidade [9].

Figura 2a é função utilidade adequada para a classe UGS, a Figura 2b aplica-se para a classe rtPS, a Figura 2c para nrtPS e a Figura 2d é aplicada para a classe de serviço BE. A arquitetura proposta para o escalonador é apresentada na Figura 3. Trata-se de uma arquitetura que pode ser aplicada tanto para o tráfego *downlink* como para o tráfego *uplink*.

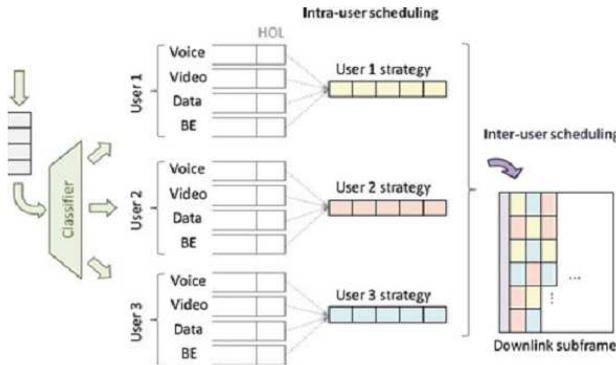


Figura 3. Arquitetura do escalonador [9].

Um classificador classifica o tráfego entrante por usuário e por classe de serviço. De acordo com a classe do serviço uma função utilidade é associada à conexão. Em uma primeira etapa, cada usuário constrói sua própria estratégia, e numa segunda etapa, o escalonador escolhe uma solução que

oferece a melhor recompensa que o conjunto de jogadores pode oferecer. Cada usuário cria sua estratégia, escolhendo de cada HOL (*head of line*) o pacote com a maior recompensa.

Uma vez que as estratégias dos usuários foram estabelecidas, o algoritmo deve escalonar os pacotes, considerando os limites da quantidade de *slots* disponíveis. No escalonamento, a diferença na SNR (*Signal-to-noise ratio*) entre os usuários deve ser considerada, pois os pacotes consumirão quantidades diferentes de *slots*. Cada combinação de estratégia representa uma aliança. O conjunto de todas as possíveis alianças é F . A recompensa $R_k(f)$ para cada jogador k para a aliança f é a vazão que se obtém. A solução para o jogo é dada por:

$$f_N = \operatorname{argmax}_F \prod_{k=1}^K R_k(f) \quad (6)$$

Este jogo, todos os jogadores cooperam em uma grande aliança, buscando um objetivo comum. É um jogo de aliança canônico.

Em [10], novamente os problemas de alocação de banda e controle de admissão são abordados. O problema é modelado como um jogo onde os usuários são os jogadores. Com recursos limitados, a quantidade de recursos alocadas a um jogador afeta a quantidade oferecida aos outros jogadores. Nesta abordagem, o jogo pode ser resolvido com uma negociação entre os jogadores. Na alocação de banda as classes de serviços rtPS, nrtPS e BR são o foco das análises. A relação entre o tempo requerido pelos *slots* b e a taxa de transmissão alcançada pelas conexões r é dada por:

$$b(r) = r(cI_{SNR})^{-1}F \quad (7)$$

Onde F é o tamanho do quadro, c é a largura de banda do canal, I_{SNR} é o número de bits transmitidos por símbolo.

Considera-se que cada classe de serviço no jogo possui N_i conexões estabelecidas e taxa média mínima para uma conexão para diferentes classes é r_i^{\min} . Assim a taxa mínima requerida para as classes de tráfego é:

$$R^{\min} = \{R_i^{\min} | R_i^{\min} = N_i r_i^{\min}, i = 1, 2, 3\} \quad (8)$$

Uma função utilidade é definida para a análise da alocação de banda:

$$u(r) = wlb(ar) \quad (9)$$

Onde w e a são constantes positivas. Define-se $r(b)$ a função inversa da Eq. (7).

$$r(b) = b^{-1}(r) = b(cI_{SNR})F^{-1} \quad (10)$$

Uma nova função utilidade é obtida:

$$\theta(b) = wlb[ar(b)] = wlb[ab(cI_{SNR})F^{-1}] \quad (11)$$

A solução do problema de barganha de Nash procura maximizar a recompensa θ , garantindo os requisitos mínimos da cada classe de serviço.

$$b_{i>b(R_1^{min})_{\sum_{i=1}^3 b_i \leq F_1}} \max \prod_{i=1}^3 \{\theta(b_i) - \theta[b(R_i^{min})]\} \quad (12)$$

Baseado na NBS, a recompensa total do sistema é obtido a seguir:

$$U_{total} = \sum_{i=1}^3 \theta(b_i) \quad (13)$$

Quando uma nova conexão é solicitada, o CAC verifica se a recompensa da rede aumenta. Se a recompensa aumentar a conexão é aceita.

O jogo não forma alianças, mas é considerado cooperativo, pois os jogadores negociam, solicitando/cedendo, com uma nova função utilidade para obter uma melhor utilização dos recursos e justiça entre as classes.

Em [11], é apresentado um trabalho sobre o provisionamento de QoS em redes WiMAX baseados em jogos cooperativos. Propõe-se uma arquitetura de escalonamento em dois níveis. O primeiro nível do escalonador situa-se na BS, o qual aloca banda entre todas as SSs para cada classe de serviço. O segundo nível do escalonador, situado nas SSs, aloca banda para cada conexão de dentro das classes de serviço.

O esquema do primeiro nível atribui um peso $w_{i,1}$, $w_{i,2}$ e $w_{i,3}$, para as classes de serviço rtPS, nrtPS e BE, respectivamente, para cada SS, dados por:

$$w_{i,j} = \beta_j \frac{R_i(t)}{R_{max}} \quad (14)$$

onde β_j é o coeficiente de prioridade para a classe de serviço j . As recompensas para as quatro classes de serviço são dadas por $r_{i,UGS}$, $r_{i,1}$, $r_{i,2}$ e $r_{i,3}$.

Seja f , o número de PSs no subframe UL e r_{UGS} o requisito total de banda da classe UGS. A banda remanescente para os outros serviços considerando que $f > r_{UGS}$ é dado por:

$$f_1 = f - r_{UGS} \quad (15)$$

Seja $r_{i,1}^{min}$ o requisito mínimo de banda para a classe de serviço rtPS e $r_{i,1}^{max}$ o requisito de banda máximo. De maneira semelhante define-se $r_{i,2}^{min}$ e $r_{i,2}^{max}$ para a classe de serviço nrtPS e define-se $r_{i,3}^{min}$ e $r_{i,3}^{max}$ para a classe BE. Para a classe BE, atribui-se o valor 0 para $r_{i,3}^{min}$ e para $r_{i,3}^{max}$ o valor de todos os pacotes BE nas filas.

Desta forma pode-se obter a NBS do problema:

$$P_1: \begin{cases} \text{Max} \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^3 w_{i,j} \ln(r_{i,j} - r_{i,j}^{min}) \\ r_{i,j} \geq r_{i,j}^{min}, i \in \{1 \dots S\}, j \in \{1 \dots 3\} \\ r_{i,j} \leq r_{i,j}^{max}, i \in \{1 \dots S\}, j \in \{1 \dots 3\} \\ \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^3 r_{i,j} \leq f_1 \end{cases} \quad (16)$$

No segundo nível do escalonador, a SS recebe uma mapa UL, do qual ele abstrai a informação de alocação de banda, o qual é o total alocada para as classes de serviço rtPS, nrtPS e BE. Assim o segundo nível do escalonador aloca banda para cada conexão para cada classe de serviço.

Para o segundo nível, os esquemas de escalonamento são os mesmos para rtPs, nrtPS e BE. Por exemplo, para a classe rtPS, pode-se obter a solução resolvendo-se o seguinte problema de otimização:

$$P_2: \begin{cases} \text{Max} \sum_{i=1}^c \ln(r_i - r_i^{min}) \\ r_i \geq r_i^{min}, i \in \{1, \dots, c\} \\ r_i \leq r_i^{max}, i \in \{1, \dots, c\} \\ \sum_{i=1}^c r_i \leq f_{rtPS} \end{cases} \quad (17)$$

Onde c representa o número total de conexões rtPS.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta um levantamento bibliográfico sobre a aplicação da teoria dos jogos cooperativos e jogos não-cooperativos na resolução de problemas de redes WiMAX. A partir dos trabalhos levantados foi possível observar que diferentes abordagens da teoria dos jogos podem ser aplicadas a problemas de escalonamento e CAC e que o conjunto de ferramentas disponibilizados pela teoria dos jogos oferece novas linhas de investigação para o provisionamento de QoS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*. IEEE Std., Rev. IEEE Std802.16-2004, 2004.
- [2] A. B MacKenzie, L. A. DaSilva, *Game Theory for Wireless Engineers*, Morgan & Claypool Publishers, 2006.
- [3] P. Walker, *History of Game Theory*, acessado em 26/04/2012 em http://www.econ.canterbury.ac.nz/personal_pages/paul_walker/gt/hist.htm
- [4] R. Fiani, *Teoria dos Jogos*, Elsevier Editora Ltda., 3ª Edição, Rio de Janeiro, 2009.
- [5] Z. Han, D. Niyato, W. Saad and A. Hjørungnes, *Game Theory in Wireless and Communication Networks: Theory, Models and Applications*, Cambridge University Press, 2012.
- [6] R. B. Myerson, *Game Theory: Analysis of conflict*, Harvard University Press, 1991.
- [7] H. Pervaiz et al, *A Game Theoretic based Call Admission Control Scheme for Competing WiMAX Networks*, IEEE, 2009.
- [8] D. Niyato, E. Hossain, *QoS-aware bandwidth allocation and admission control in IEEE 802.16 broadband wireless access networks: A non-cooperative game theoretic approach*, Elsevier, 2007.
- [9] R. G. Garropo et al, *Game theory and time utility functions for a radio aware scheduling algorithm for WiMAX networks*, Springer, 2011.
- [10] C. Dao-Jin, J. Hong and L. Xi, *Bandwidth allocation and admission control scheme based on Nash bargaining solution for WiMAX systems*, Elsevier, 2010.

[11]Y. Jiao, M. Ma, Q. Yu, K.Yi and Y. Ma, *Quality of service provisioning in worldwide interoperability for*

microwave access networks based on cooperative game theory,IET Communications, 2011.